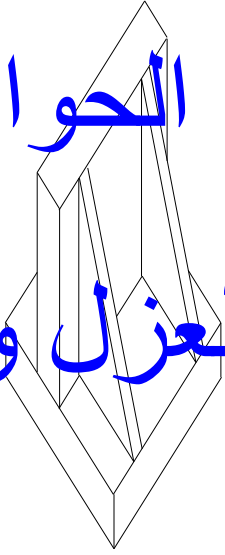


# الباب الخامس



الحوائط والفتحات

العزل وفواصل التمدد



## الباب الخامس

### أولاً الحوائط:

تنقسم الوظائف الإنشائية للحوائط الى:

1. جدران حاملة (Bearing walls): لنقل الأحمال من الأسقف إلى القواعد في حالة البناء بنظام الحوائط الحاملة.

وقد قل العمل بهذا النظام بعد انتشار التعامل مع الخرسانة المسلحة.

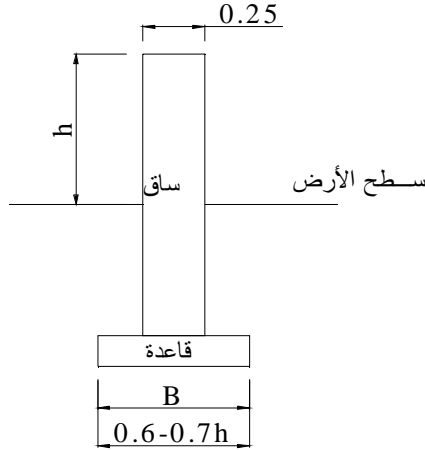
من خصائص الجدران الحاملة:

- كبر الحجم الفراغي للتمكن من تحمل الأحمال.
- صعوبة التغيير المعماري.
- فتحات الأبواب والشبابيك فيها صغيرة.

2. جدران استنادية (Retaining walls): لمقاومة الأحمال الأفقية الناشئة عن التربة أو الموائع، ويمكن القول أن الوظيفة الإنشائية الأساسية للجدران الإستنادية هي إحداث فرق منسوب بين سطحي التربة.

وتنقسم الجدران الإستنادية إلى أربعة أنواع: جدران كابولية، جدران بدعامات، جدران تحت تأثير الجاذبية الأرضية، وجدران بدروم.

أ. الجدران الكابولية: تتكون من ساق وقاعدة، ولا توجد معادلات رياضية فعالة لحساب أي أبعاد لهذه الجدران، إلا أن هناك أبعاد محبذة للاستخدام في هذه الحالة، وهي الموضحة في الشكل الآتي:



### حائط استنادي كابولي

ملاحظة: يمكن القول أن اسم الجدار الاستنادي الكابولي مأخوذ من شكل الجدار، وتصرفه الإنشائي، حيث يتصرف تماماً كالكابولي، إذ يثبت من أسفل بالقاعدة، ويترك من أعلى حراً.

### المخاطر التي قد تنتاب الجدران الاستنادية الكابولية:

يمكن تقسيم هذه المخاطر إلى نوعين:

- 1) مخاطر تتعلق بالتربة وعلاقتها بالحائط الاستنادي: وهي تنقسم إلى أربعة أقسام تتمثل في:
  - أ. خطر الدوران (Overturning): حيث يمكن أن يدور الجدار نتيجة الأحمال الواقعة عليه.
  - ب. خطر الانزلاق (Sliding).
  - ج. خطر الغوص في التربة (Low bearing capacity).
  - د. خطر القص العميق (Deep shear failure): ويتواجد في المنحدرات، وهو نادر في بلادنا، بعكس الأخطار الثلاثة الموجودة في كل مكان.

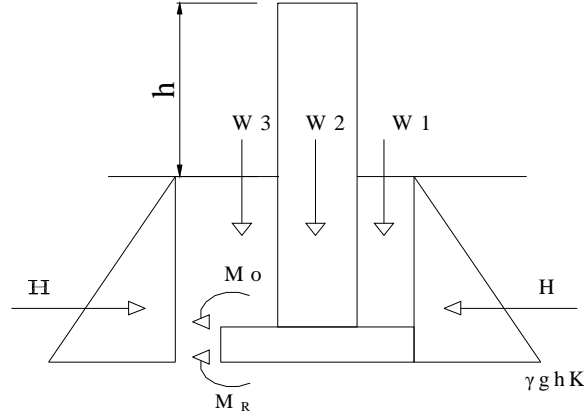
### 2) مخاطر تنتج عن جسم الجدار نفسه: مثل

- أ. عدم قدرته على مقاومة عزوم الانحناء (Moment).
- ب. عدم قدرته على مقاومة قوى القص (Shear forces).

### خطوات التعامل مع الجدار الاستنادي الكابولي عند التصميم:

- 1) يتم اختيار شكل الجدار (كابولي في هذه الحالة).
- 2) يتم فرض أطوال الساق والقاعدة، بحسب التوصيات الخاصة المذكورة.

(3) يُنظر في الدوران ومشاكله، وهنا يلاحظ أن أهم مسببات الدوران هي القوى الأفقية، التي تؤثر خطياً بشكل مشابه لتأثير الضغط الهيدروستاتيكي، كما هو موضح في الشكل المرفق.



شكل يوضح الأحمال وتوزيعها على الحائط الاستنادي

نلاحظ من الرسم الرموز الآتية:

-  $K$  وهو معامل الانتقال من الحمل الرأسي إلى الأفقي، وعلاقته مباشرة بزوايا الاحتكاك بين حبيبات التربة ( $\Phi$ ). ويمكن القول أنه في حالة كون ( $\Phi$ ) = 30°، فإن  $K = (3/1)$ ، أما إذا كانت التربة في حالة مقاومة فإن  $K = (3)$  كما هو الحال على يسار الحائط في الشكل، حيث يقوم الجدار بدفع التربة، فنكون التربة في حالة مقاومة.

-  $H$  محصلة القوى الأفقية للتربة على الجدار.

-  $M_o$  عزم الانحناء المسبب للدوران والنتاج عن تأثير القوى الأفقية على الجدار.

-  $M_R$  العزم المقاوم الناتج عن وزن الجدار، ووزن التربة التي تقاوم معه (وهي التربة الواقعة على اليسار، وهي في العادة لا تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم الجدار، لاحتمالية تجريف بعض أجزائها تحت أي ظرف، مما قد يسبب انهيار الجدار الاستنادي مباشرةً).

(4) بعد دراسة العزوم المؤثرة على الجدار، وإيجاد قيمها، يتم حساب معامل الأمان الخاص بتصميم العزوم ( $Fs_o$ )، الذي يمكن إيجاده من الصيغة:

$$Fs_o = M_R / M_o$$

ويجب أن يكون  $Fs_o$  أكبر من أو يساوي 2.

(5) الأمر الثاني الذي يتم أخذه بعين الاعتبار هنا هو خطر الانزلاق، الذي تسببه قوى الضغط الأفقية الناتجة عن التربة.

يقاوم الجدار الإستنادي قوى الانزلاق بثلاث قوى:

أ. قوى الاحتكاك بين الجدار والتربة عند قاعدة الجدار وتساوي  $\Sigma N \cdot f$  حيث،

-  $N$  هي القوى الرأسية المؤثرة على الجسم.

-  $f$  هو معامل الاحتكاك بين التربة والجدار، وقيمه  $\tan(2/3 \Phi)$ .

ب. القوة الناتجة عن التربة خلف الجدار (على اليسار في الرسم السابق)  $P_p$ .

ج. القوة الناتجة عن التصاق الجدار بالتربة في حالة كون التربة طينية، أي في حالة كون قيمة  $\Phi$

$= 0.0$ ، ويمكن التعبير عن هذه القوة بضرب معامل التصاق التربة ( $C$ ) في مساحة القاعدة

( $B$ ) لو اعتبرنا امتدادها في البعد الثالث هو الوحدة، أي ( $CB$ ).

وبالتالي يمكن صياغة معادلة مقاومة الانزلاق كالاتي:

$$F_{(against\ sliding)} = \{\Sigma N \cdot \tan(3/2 \Phi) + P_p + CB\} / \Sigma H$$

ملاحظة / في أحسن الظروف تقاوم قوى الانزلاق بالقوى الثلاث المذكورة، أما في أسوأ الظروف

فيتم مقاومتها بقوة واحدة، وهي قوة الاحتكاك، وذلك في حال كون التربة خلف الجدار غير

موجودة، بالإضافة إلى كون التربة أسفل القاعدة طينية تماماً أو رملية تماماً.

(6) في هذه الخطوة يتم أخذ خطر غوص القاعدة في التربة بعين الاعتبار:

من الملاحظ أن الجدار تؤثر عليه محصلة قوى رأسية، ومحصلة قوى عزم موجبة ناتجة عن كبر

قيمة  $M_R$  عن  $M_o$ ، وذلك ناتج من تصميم العزوم ( $M_R / M_o \geq 2$ ).

هذه القوى يمكن جمعها بالمعادلة المعروفة ( $Q = P/A (+/-) Mc/I$ )، ولتحقيق تصميم آمن يجب

ألا تزيد قيمة  $Q$  عن قدرة تحمل التربة، كما لا يجب أن تقل عن صفر، لأن ذلك يؤدي إلى تحميل

التربة بقوى شد لا تستطيع التعامل معها، كما أن ذلك يؤدي إلى نقص قيمة مساحة القاعدة

المعرضة للتحميل نتيجة ارتفاع جزء منها عن سطح الأرض.

(7) خطر القص العميق ينتج عن وجود الأحمال الناتجة عن المنشآت على سفوح المنحدرات، مما

يؤدي إلى عملية قص للكنتلة الترابية الحاملة للمنشأ، وفصلها عن المنحدر، وليس لذلك علاقة بجسم

المنشأ من حيث التصميم الإنشائي. ولحساب معامل الأمان لهذه الحالات يتم استخدام برامج

حاسوب ليست مدار حديثنا في هذا المساق.

(8) قد تكون فرضية الأطوال أثناء التصميم غير صحيحة، وبالتالي قد يؤدي ذلك إلى وجود قصور في

التصميم ضد القوى السابقة، ولعلاج هذا القصور يمكن عمل الآتي:

أ. قصور في تصميم عزم الانحناء: يتم علاجه بطريقتين:

- الأولى تتمثل في زيادة كمية الباطون في الجدار مما يؤدي إلى زيادة  $M_R$ .

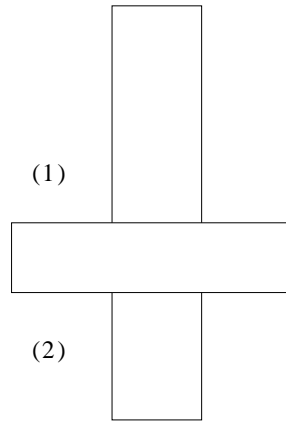
- الثانية تتمثل في زيادة طول القاعدة، مما يزيد من أحمال التربة الواقعة عليها، ويزيد من ذراع العزم المقاوم  $M_R$ ، وتعتبر هذه الطريقة أفضل من سابقتها لأنها تعطي ميزتين، في حين تعطي الأولى ميزة واحدة فقط.

ب. قصور في تصميم مقاومة الانزلاق: والعلاج يتم بثلاث طرق:

- تكبير قيم الأحمال، إما بزيادة كمية الخرسانة، أو بزيادة طول القاعدة من اليسار (في الشكل السابق).

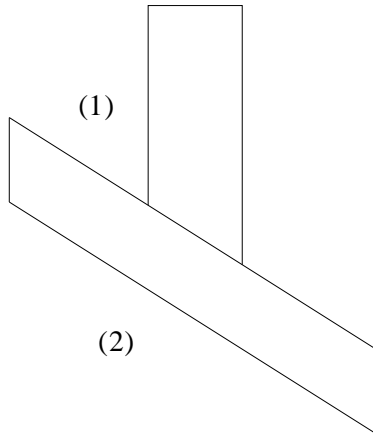
- زيادة عرض القاعدة، من أجل زيادة قوى الالتصاق بين التربة والجدار.

- تثبيت قيمة  $P_p$ ، وذلك بإحدى طريقتين، الأولى باستخدام ما يسمى ب (Key) الموضح في الشكل المرفق بالأسفل، حيث بمجرد إزالة التربة الموجودة في المنطقة (1) يقوم الجدار السفلي بالضغط على التربة الموجودة في منطقة (2) والتي لا يمكن أن تزال بأي شكل من الأشكال، فتعمل التربة (2) عملاً مكافئاً تقريباً لعمل التربة التي تم رفعها.



شكل يوضح أحد طرق تثبيت  $P_p$

والطريقة الثانية بإنشاء القاعدة بشكل مائل، كما هو موضح:



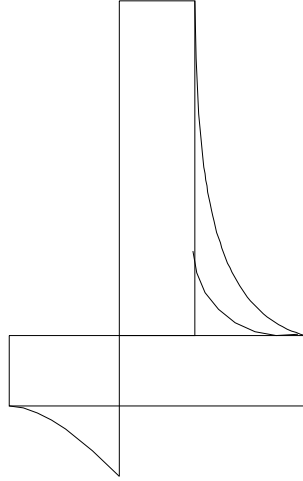
شكل يوضح الطريقة الثانية لتثبيت  $P_p$

وفيها يتم اتباع نفس المبدأ السابق، حيث تعمل المنطقة (2) بدلاً من (1) في حال إزالة الأخيرة.

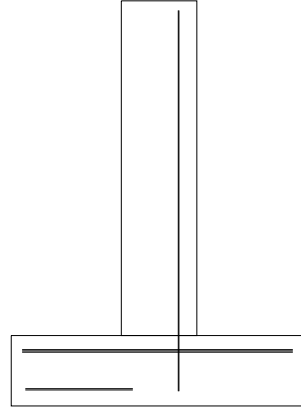
ج. قصور في تصميم مقاومة الغوص: والحل الوحيد هنا هو تكبير مساحة القاعدة.

ملاحظة (1): من مزايا الحائط الاستنادي الكابولي أنه سهل التصميم والتنفيذ، ومن عيوبه ارتفاع تكلفته (تكلفة المواد وليس العمالة)، وخاصة إذا زاد فرق منسوب التربة المسنودة عن 6م.

ملاحظة (2): يكون حديد التسليح في الجدار الاستنادي الكابولي أساسياً في المنطقة المجاورة للتربة، وينفذ تقريباً كما بالشكل الآتي:

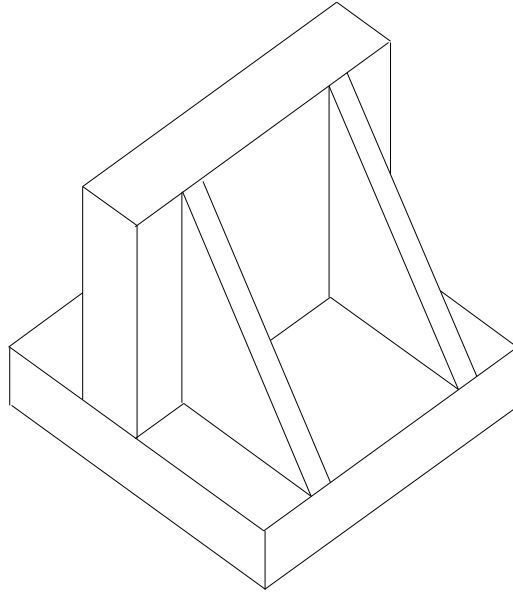


An approximate moment diagram



An approximate steel reinforcement

ب. جدران بدعامات: وهي محاولة لحل المشكلة المذكورة في الملاحظة (1)، حيث يمكن علاج مشكلة ارتفاع تكلفة الجدار عند زيادة فرق المنسوب عن 6م بعمل شدادات للجدار بينها مسافة تتراوح من 4 - 6م تعمل كعمل الحزمات (Beams)، كما هو موضح بالشكل الآتي:



شكل يوضح عمل شدادات للحائط الاستنادي الكابولي



ويمكن ملاحظة أنه في هذه الحالة ينتقل العزم في الاتجاهين الرأسي والأفقي، بينما في حالة الكابولي بلا شدادات فإن العزم ينتقل في الاتجاه الرأسي فقط، وتكون قيمة العزم الأفقي = 0.0، حيث يندم التشوه في الاتجاه الأفقي.

وبناءً على ذلك، فإن وضعية حديد التسليح في الحالة الثانية تختلف عن الحالة الأولى، ففي الحالة الأولى (كابولي بلا شدادات) يسلح الجدار بحديد أساسي رأسي في الاتجاه المجاور للتربة، بينما يعمل الحديد الأفقي كمقاوم للتشققات الناتجة عن التغيرات الحرارية ليس إلا.

بينما في الحالة الثانية، فإن الحديد يعتبر أساسياً في الاتجاهين، الرأسي، والأفقي، لوجود قيم للعزم في كلا الاتجاهين، وتكون القيم الكبرى للحديد كما يلي:

- في حالة التسليح الأفقي: يتركز الحديد في الجهة الخلفية للجدار (البعيدة عن التربة الضاغطة) في حالة المنطقة الممتدة بين الركيزتين، وذلك لمقاومة العزم الموجب، أما في المنطقة المجاورة للركيزة فيكون تركيز الحديد في المنطقة المجاورة للتربة الضاغطة، وذلك لمقاومة العزم السالب. (يتضح ذلك برسم B.M.D تقريبي للأحمال على الجدار).

- في حالة التسليح الرأسي: يتركز الحديد في الجهة المجاورة للتربة الضاغطة.

ويمكن توضيح ذلك في الشكل الآتي:

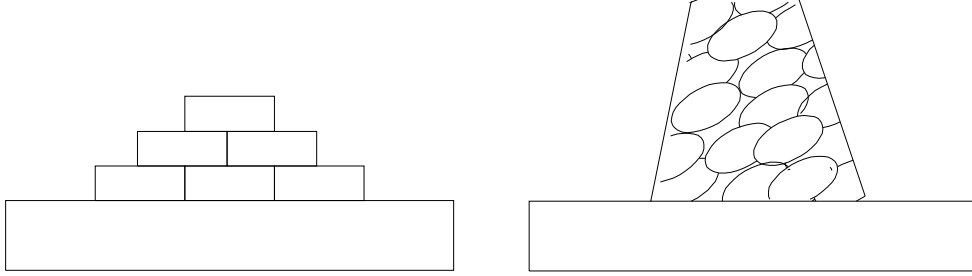


حديد تسليح للمنطقة المجاورة للركيزة حديد تسليح للمنطقة الممتدة بين الركيزتين

ملاحظة: نتيجة لتوزيع انتقال العزم على الاتجاهين، الرأسي والأفقي، في حالة الكابولي بشدادات فإن كمية حديد التسليح، وسمك مقاطع الخرسانة المستخدمة في الجدار يقلان بشكل واضح، مما يقلل من تكلفة إنشاء الجدار، وهذا ما يجعل هذا النوع من الجدران اقتصادياً، وهو ما يميزه عن غيره من الحوائط الاستنادية.

ولتصميم هذه الجدران: يتبع نفس النظام المذكور في الجدران الكابولية.

ج. جدران تحت تأثير الجاذبية الأرضية: هي كتل من الطوب أو الصخر ترص إلى جانب بعضها لتحمل القوى الأفقية. ويتم ربط الأحجار أو الطوب بالمونة. ويمكن تمثيلها بالشكل الآتي:



ويستخدم هذا النظام في الضفة الغربية بكثرة، ويتم استخدامه غالباً للارتفاعات المنخفضة (أسوار). وتعتمد هذه الجدران على وزنها في مقاومة الأحمال الأفقية. تصميم هذه الجدران يعتمد على حساب وزن الجدار فقط، مما يستدعي حساب أحجام الأحجار المستخدمة، والتي تتحكم بشكل رئيسي في وزن الحجر، أو الطوب، إذا اعتبرنا الكثافة ثابتة. في حالة جدران الجاذبية، تؤثر على الجدران القوى الآتية:

- القوى الأفقية، وتنتقل على هيئة قوى أفقية وعزوم.
- أوزان الأحجار، وهي تفرض أثناء التصميم وتفحص بناءً على الآتي:

القوة التي تقاوم القوى الأفقية هي قوة الاحتكاك بين الأحجار، والتي يجب أن تكون على الأقل أكبر من (1.5) من الأحمال الأفقية، بمعنى  $(N * f > 1.5 H)$ . كما يجب ضمان عدم حدوث دوران في الجدار من خلال ضمان تحقق المعادلة:

$$N/A (+/-) Mc/I \geq 0.0$$

\*\* من مميزات جدران الجاذبية أنها رخيصة، بينما من عيوبها كبر فراغها الحجمي. ملاحظة: تستخدم جدران الجاذبية ذات السمك الكبير في الموانئ عادةً، وذلك لوجود صعوبات فنية وتقنية في عمل الجدار الاستنادي من الخرسانة، فيتم اللجوء إلى جدران الجاذبية، خاصة وأن المساحة اللازمة لهذا النوع من الجدران متوفرة.

د. **جدران البدروم**: جدار البدروم أو ما يعرف بـ (Basement wall) هو جزء من المبنى وظيفته مقاومة القوى الأفقية الناشئة من ضغط التربة، ويكون خارجياً غالباً. في حالة كون الجدار ملتصقاً تماماً بالمبنى، فلا حاجة لعمل فحص الانزلاق، والدوران، وذلك لأن أي حركة في الجدار في هذه الحالة تعني حركة للمبنى ككل، سواءً بالانزلاق، أو بالدوران، وهو ما لا يمكن حدوثه بفعل كمية تربة مستندة على الجدار. ومن هنا يتم التركيز في تصميم هذا النوع من الجدران على قوى العزم والقص الخاصة بجسم الجدار نفسه.

#### خيارات تحميل جدار البدروم:

1. في حالة عدم وجود نوافذ في الجدار: في هذه الحالة يتم تحميل الجدار على القاعدة من أسفل، وعلى السقف من أعلى، فيتصرف إنشائياً باعتباره (Simply supported slab). ويكون تشوه الجدار في هذه الحالة رأسياً، وجانب الشد يكون في المنطقة الخلفية (البعيدة عن التربة)، وفيها يكون حديد التسليح الرئيسي، ويوضع بشكل رأسي.
  2. في حالة وجود نوافذ في الجدار: عند وجود نوافذ في الجدار نتيجة لغرض معماري، فإن تحميل الجدار على السقف يكون غير ممكن، لوجود مساحات غير موصلة للحمل في الجدار (النوافذ)، وبالتالي يمكن التصميم بإحدى طريقتين:
    - اعتبار الجدار ككابولي، ويصمم كما سبق، ويكون مكلفاً في هذه الحالة.
    - أو باعتبار الخرسانة على جانبي النوافذ حزامات (Beams)، والمنطقة فيما بينهما (Slab)، وبالتالي يصبح التشوه في الاتجاه الأفقي، ويصبح حديد التسليح الرئيسي أفقياً.
- ملاحظة: عند التصميم مع الاعتماد على السقف، كما في بعض الحالات السابقة، يجب إرفاق تحذير على المخطط يفيد بمنع الردم خلف الجدار منعاً باتاً قبل صب السقف، وذلك لأن التصميم يعتمد بشكل أساسي عليه.

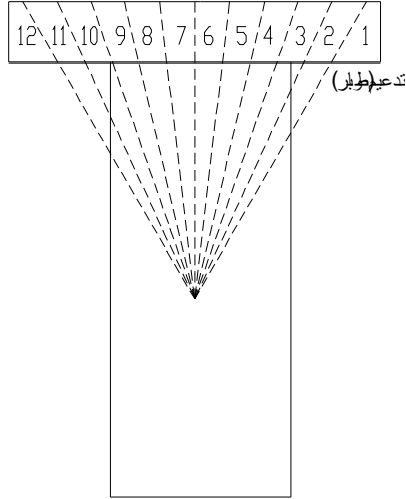
ه. **جدران قص (Shearing walls)**: الغرض منها مقاومة الأحمال الأفقية مثل الزلازل والرياح.

وتسلح جدران القص بحديد رئيسي أفقي ورأسي على جانبي الجدار، مما يعني أن كل الحديد الموجود في جدار القص هو حديد رئيسي.

## ثانياً الفتحاح:

أغراض الفتحاح: يمكن القول أن أغراض الفتحاح تنحصر تقريباً فيما يلي:

- 1) إدخال الإضاءة والتهوية: ويقصد بذلك النوافذ.
  - 2) الحركة والمرور: عبر الأبواب.
  - 3) التكييف: حيث يتم عمل فتحاح بين الغرف في المباني ذات التكييف المركزي لإدخال الهواء الساخن، أو البارد.
  - 4) الكهرباء والأعمال الصحية: التي يجب أن يترك لها فتحاح في البناء لإتمامها.
  - 5) النظافة: وتظهر وظيفة النظافة للفتحاح في العمارات المرتفعة، حيث يتم ترك فتحاح في أماكن معينة في الجدران ملتصقة بمواسير مخصوصة لرمي المخلفات.
- عادةً ما تغطي الفتحاح بالعنّب، وهي (الكشفة) الموجودة فوق الشباك أو الباب، وهي تصنع إما من الحديد، أو الخرسانة، أو الخشب، أو الحجر.
- أ. الخشب والحديد: من مزايا استخدام الخشب والحديد في الكشفاة سرعة البناء فوق الكشفة. ومن عيوب استخدامهما ضعف التحمل في حالة كبر الأحمال الواقعة على الكشفة، أو في حالة كبر المسافة بين طرفي الكشفة. كذلك من عيوب استخدام الحديد والخشب في الكشفاة ظهور المشاكل الطبيعية كالتسوس في الخشب، والصدأ في الحديد.
- ب. الباطون: كنتيجة لعيوب الخشب والحديد في الكشفاة تم التعامل مع الباطون في معظم المنشآت المعاصرة، حيث يعطي الباطون نتائج أفضل في تحمل الفتحاح الكبيرة. ومن مزاياه صغر التشوه المتكون فيه، واقتصادية تسليحه. ولكن عيبه الرئيسي طول فترة التنفيذ، حيث يتوقف البناء حتى يتم جفاف الكشفة وفك خشب الطوبار عنها.
- ج. الحجر (العقود أو الأقواس): وتنفذ الأقواس كما يلي:



- يتم اختيار نوع العقد (بالشكل عقد مستقيم).
- يقرر مركز للقوس.
- يتم رسم خطوط تصل المركز بقمة الكشفة.
- بذلك تم تحديد أشكال الأحجار المستخدمة من 1 - 12 مثلاً.

- تقص الأحجار بحيث تأخذ الشكل المقرر في التصميم.
  - يتم عمل تدعيم في بطن القوس مباشرةً.
  - يصف كل حجر في مكانه المصمم له.
  - بعد الانتهاء من تركيب آخر حجر يتم رفع الطوبار.
  - يحبذ أن يكون عدد الأحجار فردياً، وأن يكون آخر حجر يتم بناؤه هو حجر القمة.
  - ويجب مراعاة نقطة مهمة، وهي ألا يزيد طول الحجر المقرر عن البعد المعروف للحجر.
- ملاحظة (1): في حالة قص الأحجار بشكل ممتاز فلا حاجة لاستخدام المونة، وهو أمر نادر الحدوث، حيث عادةً ما توجد فراغات بين الأحجار يتم تعبئتها بالمونة، ويشترط عدم زيادة سمك المونة المستخدمة عن 2 سم، وذلك لأنها تعمل كعنصر ضعف في الأحجار.
- ملاحظة (2): تمتاز كشفات الأقواس بسرعة التنفيذ، حيث يتم رفع الطوبار بمجرد الانتهاء من بناء آخر حجر.

#### أنواع العقود من حيث مركزها:

- (1) عقد مستقيم: وهو الموضح في الرسم السابق.
- (2) عقد بمركز واحد: وهو إما أن يكون نصف دائرة أو جزءاً منها، وتتبع نفس الخطوات السابقة لتصميمه.
- (3) عقد بمركزين: واشتهرت به العمارة العباسية، ويوجد منه نوع بمركزين ومماسين يتميز بصغر ارتفاعه، ويوجد بكثرة في العمارة الفاطمية.

4 عقود بثلاثة مراكز .

5 عقود بأربعة مراكز .

هذه العقود موضحة بالرسم في كتاب إنشاء المباني للدكتور محمد عبد الله ص 57.

#### مصطلحات خاصة بالعقود:

في الشكل المرفق بالأسفل تمثل الأرقام ما يلي:

(1) مفتاح العقد .

(2) تاج .

(3) تتويجة (السطح الخارجي للعقد) .

(4) رجل العقد .

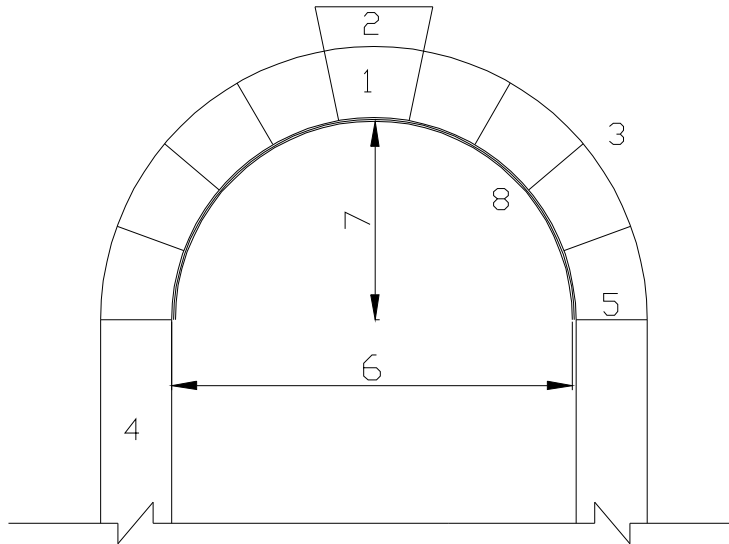
(5) نقطة الاتصال .

(6) عرض العقد (البحر أو الوتر) .

(7) ارتفاع العقد (السهم) .

(8) بطن العقد .

وتعرف مجموعة الأحجار المشكلة للعقد باسم الجنزير، بشرط أن تكون هذه الأحجار في مدماك واحد .



شكل يوضح أجزاء العقد

ويمكن القول أن استخدام العقود قد قل في وقتنا الحالي نظراً لكونها تتطلب مهارات خاصة في إنشائها.

### ثالثاً العزل:

الغرض من العزل هو منع الحرارة والصوت والرطوبة من الانتقال عبر عناصر المبنى.

أولاً عزل الرطوبة: ويتم بعدة طرق

(1) استخدام القار (الزفتة): ويتم ذلك بدهان المناطق المعرضة للرطوبة بوجهين من القار البارد أو الساخن باتجاهين متعاضدين. ويفضل استخدام القار الساخن لأنه يعطي تعبئة أفضل للفراغات. تستخدم هذه الطريقة في حالة كون التربة غير قابلة للاحتفاظ بالمياه لفترات طويلة (رملية)، وكذلك في حالة عدم وجود أملاح أو كبريتات في المياه المعرض لها العنصر. في حالة وجود تربة طينية أو أملاح أو كبريتات، يستخدم دهان قار بوجهين ساخنين ثم يتم إما فرش ألواح من الألياف الصناعية (فيبرجلاس) فوق القار، أو دهان وجه ثالث من القار. ملاحظة: يوجد نوع من القار لونه أبيض، يستخدم في عزل المناطق الظاهرة من المبنى لتجنب المنظر السيئ للقار الأسود.

(2) استخدام شرائح القار (بولوبيد): وتستخدم هذه الشرائح بسبك 4.5 ملم، وعرض متر، وطول 10 متر للفة الواحدة. وقد توجد طبقة من كسر الحجر (الحصمة) على البولوبيد، ويكون الغرض منها عكس أشعة الشمس نظراً لونها الأبيض العاكس، ويستغنى عن هذا الأمر في حالة عزل المناطق الداخلية من المنشأ مثل القواعد. ويعتبر هذا الخيار هو الأفضل و ولكنه الأعلى ثمناً.

وتتلخص طريقة العمل بدهن الجزء المراد عزله بمادة ابتدائية لاصقة، ثم تركها حتى تجف، ثم يتم فرش ألواح البولوبيد، وتلصق الألواح ببعضها البعض بواسطة لهب النار (لحام). وبذلك تتكون طبقة من البولوبيد سمكها 4.5 سم تفصل العنصر الخرساني عن المحيط الخارجي. من عيوب هذا النظام عدم إمكانية إضافته للمنشأ إلا بعد انتهاء كافة أعمال البناء، نظراً لإمكانية ثقب أو إفساد طبقة العزل (المائلة للضعف بطبيعتها) أثناء البناء.

ملاحظة (1): في حالة عزل الأسقف يجب عمل مثلثات من الخرسانة بطول وعرض 10\*10 سم في مناطق التقاء السور بالأسقف الخرساني، وذلك لمنع تجمع المياه وتسربها بين الخرسانة والسور، ثم تغطي هذه المثلثات بالقار.

ملاحظة(2): يجب عمل ميول للأمطار تحت طبقة القار في السطح العلوي للمبنى، ويتم ذلك بطريقتين:

- أ. إما جعل الميل في باطون السقف، ويفضل ميل 1% عادةً. وتؤدي هذه الطريقة إلى زيادة الأحمال على المبنى، إلا أنها سريعة وقوية. ويمنع منعاً باتاً تكوين ميول السقف عن طريق إمالة خشب الطوبار.
- ب. أو بصب السقف أفقياً بشكل طبيعي ثم استخدام الخرسانة الرغوية (بدكا) التي تتميز بخفة الوزن لكثرة فراغاتها الداخلية.

3) عزل باستخدام البلاط: ولا تستخدم هذه الطريقة في غرة، وإن استخدم يجب مراعاة أمر هام، وهو ترك مسافات بين البلاط (2-3 سم كل مترين) تعباً بمادة لينة (سليكون أو قار)، والهدف من ذلك تفادي المشاكل الناتجة عن التمدد الحراري الناشئ في البلاط.

#### ثانياً عزل الصوت والحرارة:

أولاً العزل في الجدران: أفضل الطرق لعزل الصوت في الجدران إما استخدام مواد عازلة للصوت مثل الإيتونج، أو عمل جدران مزدوجة، أو تبطين الجدران بمواد عازلة. وتقوم فكرة العزل على تكسير الموجات الصوتية الداخلة للجدار عن طريق تضمين أكثر من مادة في الجدار، مما ينتج عنه اختلاف في الوسط الناقل للصوت، واختلاف في سرعات الموجات الصوتية، وبالتالي تكسرها، ووصولها بشكل خفيف جداً أو متلاش إلى داخل الجدار. وقد يتطلب الأمر أحياناً عزل الموجات الصوتية في داخل المبنى نفسه، أو منع ما يعرف بصدى الصوت، الذي تظهر مشاكله غالباً في القاعات الكبيرة، وللتغلب عليه يمكن:

- عمل بروزات في الجدران.
- تبطين الجدار بأي مادة غير ملساء.
- عمل فجوات في داخل السقف.
- إضافة الستائر والأثاث.
- استخدام نوع معين من الدهان (حبيبي غير أملس).

#### ثالثاً العزل في الفتحات:

1. بالنسبة للشبابيك: يمكن استخدام الزجاج المزدوج.
2. في الأبواب: إما عن طريق تبطين الباب بحشوة داخلية أو تغليفه بغلاف خارجي.



رابعاً العزل في الأسقف: أفضل طرق عزل الصوت في الأسقف إنشاء ما يسمى بالأسقف المستعارة، والسقف المستعار هو سقف إضافي معلق بالأسقف الأساسي، مع ترك فراغ بينهما، مما يؤدي إلى عزل الصوت.

خامساً عزل الأرضيات: ويتم عزل الأرضيات عن طريق فرشها بمواد بلاستيكية خاصة عازلة للصوت، أو عن طريق السجاد (الموكيت).

ملاحظة: عزل الصوت يعني مباشرةً عزل الحرارة، حيث أن الأول يؤدي إلى الثاني مباشرةً، وبالتالي فإن الحديث عن عزل الحرارة هو نفسه الحديث عن عزل الصوت.

### رابعاً الفواصل:

الفواصل نوعان: فواصل تمدد، وفواصل هبوط.

فواصل التمدد: الغرض منها التغلب على مشكلة التغيرات الحرارية، التي ينتج عنها اختلاف بين الخرسانة والحديد في معدل وقيمة التمدد الحراري، مما يسبب إجهادات داخلية عالية، وتظهر هذه المشكلة غالباً في المباني المرتفعة التي يظهر فيها أثر الفرق في معامل التمدد الحراري بين الحديد والخرسانة.

ولتقليل هذا الأثر يتم فصل المبنى إلى جزأين، وحسب الكود الأمريكي، فإن أيًا من أجزاء المبنى لا يجب أن يزيد طوله عن 25 م (يختلف ذلك في الدول العربية، حيث ترتفع القيمة المذكورة إلى 40 م نظراً لاختلاف درجات الحرارة في المنطقة العربية).

ملاحظة(1): تفصل جميع أجزاء المبنى ما عدا القواعد، وذلك لتلاشي مشكلة الهبوط المتفاوت، والتي قد ينتج عنها مشكلة معمارية، وفرق في منسوب البلاط.

ملاحظة(2): البلاط لا بد أن يفصل، تجنباً لكسره عند حدوث أي تفاوت في تصرف جزأي المبنى.

فواصل الهبوط: وهو كفاصل التمدد، إلا أن القواعد فيه مفصولة. ولا يمكن التمييز بينه وبين النوع الأول دون النظر إلى القواعد، أي في المراحل الأولى للإنشاء، حيث يتميز فاصل الهبوط بانفصال قواعد عن بعضها بعكس فاصل التمدد.

ملاحظة: يمكن أن يكون فاصل الهبوط هو فاصل تمدد أيضاً، ولا يمكن العكس.

## أسباب فواصل الهبوط:

1. اختلاف التربة: حيث يفصل المبنى لتجنب فرق الهبوط الناتج عن فرق تصرف التربة.
2. اختلاف ارتفاعات المبنى: حيث يمكن أن يكون أحد أجزاء المبنى مختلفاً عن الأجزاء الأخرى في عدد الطوابق. وتبدو هذه الظاهرة جلية في المساجد، حيث يجب أن تفصل المئذنة بأساساتها فصلاً كاملاً عن المسجد، لأن تصرفها يختلف تماماً عن تصرف المسجد.
3. اختلاف التصرف الإنشائي للجزأين: حيث يمكن أن يكون لجزء من المنشأ سلوك إنشائي مختلف عن سلوك الأجزاء الأخرى، كأن يكون في المبنى (Long spans) بالإضافة إلى (Short spans).

